

# Razvoj energetske sustava u borilačkim sportovima

---

Jurčić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Splitu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:221:176184>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Split](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

Stručni prijediplomski studij kineziologije / smjer Kondicijska priprema  
sportaša

**RAZVOJ ENERGETSKIH SUSTAVA U**  
**BORILAČKIM SPORTOVIMA**

ZAVRŠNI RAD

Student:

Ivan Jurčić

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Mario Tomljanović

Split, 2024.

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. ENERGETSKI SUSTAVI.....	3
2.1. Anaerobno – alaktatni ili fosfageni sustav .....	4
2.2. Anaerobno – laktatni ili glikolitički sustav .....	4
2.3. Oksidativni sustav.....	5
3. ENERGETSKI SUSTAVI U BORILAČKIM SPORTOVIMA .....	6
3.1. Judo.....	6
3.2. Boks .....	9
3.3. Karate.....	11
3.4. Taekwondo .....	13
3.5. Hrvanje .....	17
4. RAZVOJ ENERGETSKIH SUSTAVA U BORILAČKIM SPORTOVIMA.....	20
4.1. Trening za razvoj izdržljivosti.....	21
4.2. Trening s opterećenjem .....	24
4.3. Ostale metode za razvoj energetskih sustava .....	26
5. ZAKLJUČAK .....	28
6. LITERATURA .....	29

## SAŽETAK

Energetski sustavi pripadaju u kategoriju funkcionalnih sposobnosti koje se odnose na osnovne energetske procese odgovorne za izdržljivost organizma te se mogu podijeliti na aerobne i anaerobne funkcionalne mehanizme koji u različitim omjerima doprinose pojedinim aktivnostima. Cilj ovoga rada bio je dati pregled literature koja se bavi proučavanjem doprinosa energetske sustava u odabranim borilačkim sportovima – judo, boks, karate, taekwondo, hrvanje te metoda koje su optimalne za njihov razvoj. Najčešće metode koje se koriste za razvoj energetske sustava u borilačkim sportovima su: aerobni intervalni te anaerobni glikolitički i fosfageni trening. Pokazalo se kako u borilačkim sportovima dominira oksidativni energetski sustav, ali su za ključne reakcije i ostvarivanje bodova u samim borbama odgovorni anaerobni metabolički procesi. Za postizanje optimalne treniranosti potrebno je pratiti dostignuća suvremene znanosti u sportu te nastaviti provoditi istraživanja kako bi se unaprijedila struka, a istovremeno i poboljšalo metode treninga te pozitivno utjecalo na uspjeh i izvedbu sportaša.

**Ključne riječi:** energetski sustavi, borilački sportovi, anaerobni, aerobni metabolički procesi

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF ENERGY SYSTEMS IN COMBAT SPORTS**

The energy systems belong to the category of functional capabilities, which refer to the basic energy processes responsible for the endurance of the organism, and can be divided into aerobic and anaerobic functional mechanisms that contribute to different degrees to the individual activities. The aim of this paper was to provide an overview of the literature dealing with the study of the contribution of energy systems in selected martial arts – judo, boxing, karate, taekwondo, wrestling – and the methods that are optimal for their development. The most common methods of developing the energy system in combat sports are: aerobic interval training, as well as anaerobic glycolytic and phosphagenic training. It has been shown that the oxidative energy system dominates in martial arts, but anaerobic metabolic pathways are responsible for key reactions and scoring in the fights themselves. In order to achieve optimal training, it is necessary to pursue the achievements of modern science in sport and to continue research to advance the profession while improving training methods and positively influencing the success and performance of athletes.

**Key words:** energy systems, combats sports, anaerobic, aerobic, metabolic pathways

## 1. UVOD

Ljudske civilizacije tisućljećima sudjeluju u borbama povezanim s ratovima. Borilački sportovi su moderne inačice ovih aktivnosti u kontroliranim uvjetima te su uvrštene na Olimpijske igre na kojima otprilike 16 % od ukupno dodijeljenih medalja odlazi upravo u borilačke sportove. Također, sve je veći broj borilačkih sportova te njihova popularnost raste u cijelom svijetu. Upravo je sve veća raširenost i popularnost tih sportova te važnost na Olimpijskim igrama dovela do većeg broja znanstvenih istraživanja vezanih uz fiziologiju, znanost o prehrani, biomehaniku i provođenje treninga za sportaše borilačkih sportova. Provedena istraživanja opisuju borilačke sportove kao visoko intenzivne aktivnosti koje zahtijevaju razvoj upravo tih znanja (Ruddock i sur., 2021).

Borilački sportovi su općenito opisani kao borba između 2 natjecatelja koji pokušavaju pobijediti jedan drugoga u okvirima pravila tog sporta i vremenskog ograničenja. Mogu se podijeliti na udaračke (taekwondo, boks, karate...) u kojima je natjecateljima cilj udarati protivnika ekstremitetima u svrhu ostvarivanja pobjede putem bodova ili nokauta i sportove hrvanja kao što su hrvanje grčko – rimskim ili slobodnim stilom, judo te sambo. Iako postoje mnoge različitosti među borilačkim sportovima ono što im je zajedničko je da su intervalnog karaktera te natjecatelji sudjeluju u borbama u trajanju od 2 – 5 minuta, a za one sportove koji se sastoje od više rundi, runde se ponavljaju 1 – 11 puta tijekom jednog meča u kojem postoji pauza u trajanju od 30 – 60 sekundi (Vasconcelos, Protzen, Galliano, Kirk i Del Vecchio, 2020).

Energetski sustavi pripadaju u kategoriju funkcionalnih sposobnosti koje se odnose na osnovne energetske procese odgovorne za izdržljivost organizma. Njihova osnovna podjela je na aerobne i anaerobne funkcionalne mehanizme koji u različitim omjerima doprinose pojedinim aktivnostima. Aerobni energetski sustavi ili često nazivani aerobni fitness i kardio – respiratorna izdržljivost su mjere energetskog intenziteta oslobađanja energije u jedinici vremena u prisustvu kisika, dok anaerobni sustavi predstavljaju procese oslobađanja i stvaranja energije bez korištenja kisika. Kao izvore energije mišići koriste mišićni glikogen i molekulu kreatin – fosfata, a kao nusprodukt nastaje mliječna kiselina koja posredno snižava pH vrijednost krvi i onemogućava funkciju mišića (Vučetić, Sukreški i Sporiš, 2013).

Glavni cilj ovoga rada je predstaviti poznate energetske sustave te dati pregled literature koja se bavila proučavanjem doprinosa energetske sustava u borilačkim sportovima. Isto tako, na temelju dostupnih istraživanja bit će predstavljene i pojedine metode koje se mogu koristiti za razvoj energetske sustava, a koje su optimalne za njihov razvoj u odabranim borilačkim sportovima.

## 2. ENERGETSKI SUSTAVI

U ovom radu bit će izdvojena tri energetska sustava (dva anaerobna i jedan aerobni) koja sudjeluju u ponovnoj sintezi molekule adenzin trifosfata (ATP), a samim time i oslobađanju energije potrebne za tjelesnu aktivnost, obzirom da energiju za kontrakciju skeletnih mišića može osigurati jedino reakcija u kojoj dolazi do hidrolize ATP-a. Dva anaerobna sustava su: anaerobni – alaktatni, fosfageni ili adenzin trifosfat – kreatin – fosfat (ATP – KP) sustav te anaerobni – laktatni ili glikolitički sustav. S druge strane, aerobni energetski sustav predstavlja oksidativni ili transportni sustav za kisik (Franchini, 2023).

Ovi energetski sustavi razlikuju se u metaboličkoj snazi i kapacitetu, a razlike ovise o pojedincu, odnosno više su izražene kod onih pojedinaca koji su bolje utrenirani za aktivnosti koje (pretežno) ovise o jednom energetskom sustavu ili kombinaciji više njih (Franchini, 2023). Aktivacija energetskih sustava određuje brzinu oslobađanja energije, a time i intenzitet i trajanje napora. Razlike također mogu ovisiti i o razini motivacije, osobinama ličnosti, zalihama glikogena te učinkovitosti biokemijskih procesa u mišićima. Stoga je određivanje doprinosa energetskih sustava u određenom sportu, ali i razvoja tih sustava kod sportaša neovisno o potrebama matičnog sporta izuzetno važno za pružanje specifičnijih fizičkih podražaja kod sportaša koji se priprema za natjecanje. Pokazalo se da razina energetskih sustava pozitivno djeluje na produktivnost treninga te odgodu pojave umora što za posljedicu može imati mogućnost provedbe treninga višeg intenziteta zbog ubrzanog procesa oporavka između intervala, ali i smanjenje volumena treninga, kao i veći izbor različitih metoda treninga. Neizostavno je spomenuti kako je razina energetskih sustava povezana i s prevencijom kardiovaskularnih bolesti i boljim psihičkim stanjem sportaša što ju čini jednom od najvažnijih kondicijskih sposobnosti te preduvjetom za razvoj ostalih kondicijskih sposobnosti (Vučetić i sur., 2013). Osim same razine energetskih sustava, istraživanja su pokazala da i individualizirana prehrana te uzimanje dodataka prehrani kao ergogenih tvari mogu doprinijeti boljoj izvedbi i uspješnosti samog sportaša (Franchini, 2023).



## 2.1. Anaerobno – alaktatni ili fosfageni sustav

Anaerobno – alaktatni energetski sustav odnosi se na razgradnju adenozin trifosfat – kreatin – fosfata (ATP – KP) u mišićima te se naziva još i fosfageni sustav, a izraz alaktatni znači da ne dolazi do stvaranja laktata. Zanimljivo je napomenuti da do stvaranja laktata ne dolazi i zato što je kreatin koji se oslobodi iz kreatin – fosfata lužnatiji od samog kreatin – fosfata te djeluje kao pufer i prolongira snižavanje pH vrijednosti, a samim time i porast kiselosti u mišićima kod dulje aktivnosti. Značaj fosfagenog sustava najveći je u aktivnostima kratkog trajanja, do nekoliko sekundi, što bi značilo da njegov utjecaj prevladava najviše u sprintevima i startovima (Vučetić i sur., 2013).

Sustav ATP – KP ima veliku metaboličku snagu, što znači veliku brzinu oslobađanja energije u jedinici vremena, zbog malog broja reakcija potrebnih za resintezu ATP-a, ali je malog kapaciteta, tj. može osloboditi manju ukupnu količinu energije zbog ograničenih zaliha supstrata (Franchini, 2023). Predstavlja najbrže dostupni izvor energije za rad mišića ne samo zato što ne ovisi o transportu kisika do mišića, već i zato što ne ovisi o velikom nizu kemijskih reakcija. Kako bi se zalihe kreatin – fosfata obnovile nakon što je ovaj sustav potpuno iscrpljen potrebne su otprilike 2 – 4 minute (Vučetić i sur., 2013).

## 2.2. Anaerobno – laktatni ili glikolitički sustav

Anaerobno – laktatni ili glikolitički sustav, kao što mu i samo ime kaže, odnosi se na reakcije resinteze ATP-a putem reakcija anaerobne glikolize, razgradnje glikogena ili glukoze do piruvata, uz stvaranje soli mliječne kiseline, odnosno laktata.

Glikolitički sustav ima manju metaboličku snagu u odnosu na fosfageni sustav zbog većeg broja aktivnih reakcija uključenih u prijenos energije, odnosno zbog sporijeg oslobađanja ATP-a, ali i dvostruko veći kapacitet zbog velike količine zaliha ugljikohidrata (Vučetić i sur., 2013). Prednost anaerobno – laktatnog sustava, tj. anaerobne glikolize je sposobnost duljeg pružanja energije mišićima što im omogućava dulje održavanje visokog intenziteta rada, čak i nakon iscrpljivanja zaliha ATP-a i kreatin – fosfata. Međutim, mišići će dobivati energiju dok ne dođe do ograničenja, tj. nakupljanja metabolita i nusprodukata reakcije – laktata, koji će usporiti njen daljnji tijek te ograničiti njezino napredovanje, a zatim je i potpuno zaustaviti (Franchini, 2023). Upravo zato značaj ovog sustava očituje se u aktivnostima trajanja od nekoliko sekundi do 1 – 2 minute, ali i u intervalnim aktivnostima dužeg trajanja (Vučetić i sur., 2013).

### 2.3. Oksidativni sustav

Oksidativni sustav ili transportni sustav kisika je aerobni energetska sustav. On ovisi o potrošnji kisika te uključuje reakcije razgradnje ugljikohidrata i masti, a u slučajevima iznimno zahtjevnih i dugih napora i razgradnju proteina. Ima najnižu metaboličku snagu među energetska sustavima zbog mnogih reakcija uključenih u procese aerobne razgradnje makronutrijenata, ali ujedno ima i najveći kapacitet jer u organizmu postoje velike zalihe ovih supstrata (Franchini, 2023). On osigurava energiju za aktivnosti niskog do srednjeg intenziteta koje traju od 2 minute do nekoliko sati. Sportovi koji imaju ponavljajuće aktivnosti ili traju dulje vrijeme poput maratona, daljinskog plivanja, veslanja i kajaka najviše se oslanjaju na aerobni sustav. Za razliku od druga dva energetska sustava, oksidativni sustav zahtijeva kisik i potrebno mu je više vremena da se „preoptereći“, tj. kao što je već spomenuto ima veći kapacitet. Jačanjem ovog sustava povećava se sposobnost tijela da iskoristi kisik i omogućuje sportašu produljenje sposobnosti održavanja viših intenziteta prije pojave umora i grčeva (SMP, 2019). Generalno prihvaćeni parametri za procjenu aerobnog kapaciteta su maksimalni primitak kisika ( $VO_{2max}$ ), aerobni prag (AeP), anaerobni prag (AnP), ekonomičnost i efikasnost (Vučetić i sur., 2013).

### **3. ENERGETSKI SUSTAVI U BORILAČKIM SPORTOVIMA**

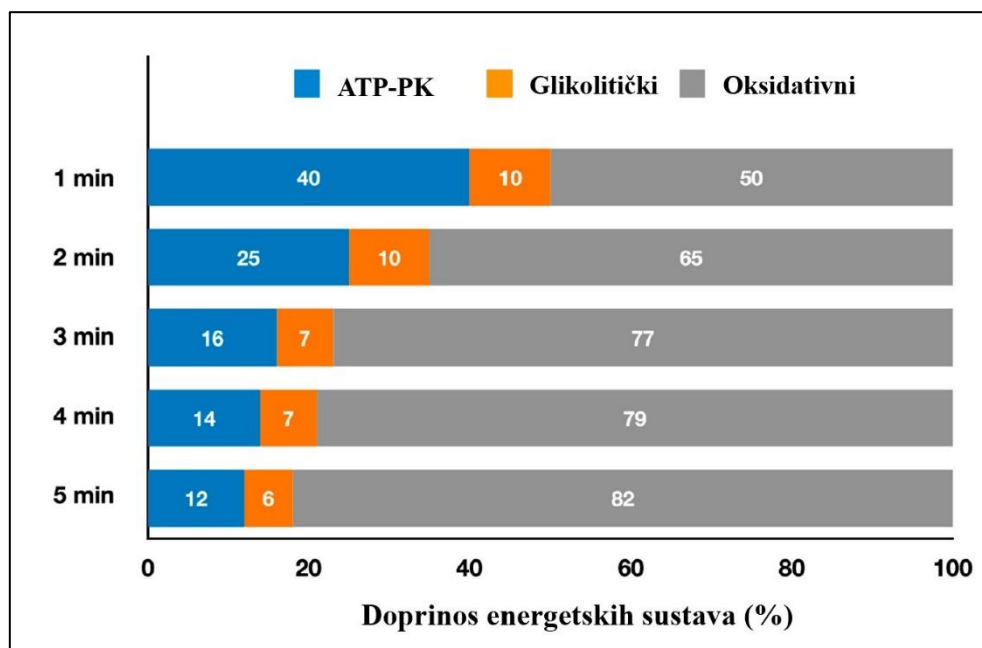
Borilački sportovi spadaju u sportske aktivnosti relativno kratkog trajanja, ali visokog intenziteta pa bi se zbog toga najveći dio energije trebao osiguravati iz anaerobnih zaliha, tj. glavnu bi ulogu trebali imati anaerobni energetske sustavi (Vučetić i sur., 2013). Ranije se smatralo kako se jednaki doprinos anaerobnog i aerobnog sustava postiže kod tjelesne aktivnosti trajanja od 1 do 2 minute, odnosno najvjerojatnije oko 75 sekundi, što je znatno ranije od prethodno poznatih spoznaja (Gastin, 2001). Međutim, u borilačkim sportovima, novija istraživanja pokazuju uglavnom prevladavajući utjecaj aerobnog energetske sustava, a manji, ali ipak presudan doprinos anaerobnih energetske sustava za odlučujuće akcije unutar samih borbi.

#### **3.1. Judo**

Judo je polistrukturalna aciklička aktivnost, odnosno borilački sport čiji je cilj pobjeda protivnika odnosno „simbolička destrukcija“ u judo borbi (Sertić, 2004). Promatrajući ga kao vještinu, on utječe na razvoj svih motoričkih i funkcionalnih sposobnosti te ima svoj kodeks ponašanja koji, također, utječe na bihevioralni razvoj osobe, razvoj samodiscipline, socijalnih vještina te odgovornog društvenog ponašanja. Iz perspektive motoričkih sposobnosti, u seniorskoj konkurenciji u judo borbi su za uspješnost najvažnije snaga, koordinacija, brzina, ravnoteža i izdržljivost (Lolić i Nurkić, 2011). Judo je nastao u Japanu 1882. godine, a njegov osnivač je Jigoro Kano. Olimpijski sport je (simbolično) postao 1964. godine na igrama u Tokyju te su tada nastupali samo muškarci, dok su judašice svoju prvu priliku na olimpijskim igrama dobile tek 1992. godine u Barceloni. Judo je podijeljen na težinske kategorije (7 muških i 7 ženskih) te ovisno o kategoriji važnost sposobnosti može se razlikovati. Svaka kategorija ima svoje specifičnosti u tehničkom i taktičkom smislu, ali također i u fiziološkom smislu, tjelesnoj konstituciji i sastavu tijela, stoga je vrlo bitno održavanje tjelesne mase. Kako bi ostvarili pobjedu, tehnike koje izvode judaši moraju biti izvedene precizno, u pravom trenutku, s dovoljnom dozom jakosti, brzine i snage (Franchini, Del Vecchio, Matsushiguge, Artioli, 2011).

Pregledni rad brazilskog znanstvenika Franchini (2023) pokazao je rezultate istraživanja Julio i sur. (2016) koji su testirali 12 judaša te ustanovili prevladavajući doprinos oksidativnog

sustava na simuliranu judo borbu (trajanja 4 minute) od čak 79 %, dok je fosfageni sustav doprinio sa 14 % te glikolitički sa 7 %. U istom su istraživanju promatrane i razlike doprinosa pojedinih energetske sustava tijekom različitog vremena trajanja judo borbe (1 – 5 minuta), kao što je prikazano na Slici 1., s obzirom na to da borba može završiti i prije 4 minute ukoliko jedan od judaša postigne *ippon* (pobjedu nekom od tehnika bacanja, zadržavanjem u parteru, gušenjem ili polugom na gornjem ekstremitetu protivnika), ali isto tako mogu trajati i dulje ukoliko je nakon službene 4 minute rezultat izjednačen. Julio i sur. (2016) također su izvijestili o nižem oksidativnom doprinosu u borbama od 1 i 2 minute u usporedbi s borbama od 3 do 5 minuta. Također, doprinos fosfagenog sustava bio je veći u borbama od 1 minute u usporedbi s ostalim borbama, ali i u borbama trajanja 2 minute u odnosu na dulje borbe. Jednostavnije rečeno, dulje borbe su više oksidativne i manje se oslanjaju na fosfageni sustav, dok glikolitički sustav otprilike jednako doprinosi u judo borbama trajanja od 1 do 5 minuta. Posljedično, apsolutna metabolička snaga također je varirala u borbama različitog trajanja pa su tako više vrijednosti bile u borbama u trajanju od 1 minute u usporedbi s duljim borbama. Stoga bi intervencije koje smanjuju gubitak metaboličke snage tijekom borbe mogle poboljšati izvedbu, obzirom na to da su judaši imali kraće pauze u slučaju borbi od 1 minute u usporedbi s borbama od 5 minuta što pokazuje na potrebu za kraćim oporavkom u kraćim borbama zbog veće metaboličke snage na početku borbe.



Slika 1. Doprinos energetske sustava u simuliranim judo borbama trajanja od 1 do 5 minuta (izvor: Franchini, 2023.)

Nadalje, stariji rad istog autora, također je pokazao doprinos pojedinih energetskih sustava na provedenom specifičnom judo testu. U istraživanju Franchini i sur. (2011) sudjelovala su 14-orica muških judaša, a specifični judo test koji je korišten kao metoda za procjenu doprinosa energetskih sustava sastojao se od 3 aktivne faze (jednu od 15 te dvije od 30 sekundi) koje su odvojene s fazama odmora od 10 sekundi. U aktivnim fazama rada jedan je judaš izvodio tehniku bacanja *ippon-seoi-nage* na druga dva judaša udaljena 6 metara. Doprinos pojedinih sustava izmjeren je određivanjem koncentracije laktata u krvi i primitka kisika, a dobiveni su sljedeći rezultati: fosfageni sustav pokazao je najveći prosječni doprinos s 42,3 %, dok su glikolitički i oksidativni sustav imali sličan doprinos od 29,5 %, odnosno 28,2 %. Razlog drugačijih doprinosa energetskih sustava, u odnosu na prethodno spomenuto istraživanje, je taj što je u ovom istraživanju proveden test kraćeg trajanja, visokog intenziteta, u odnosu na dulje trajanje judo borbe (4 minute), a za takve aktivnosti najpotrebniji je fosfageni sustav odnosno razgradnja molekule ATP – KP. Drugim riječima, anaerobni metabolizam bit će zadužen za brze i precizne radnje poput tehnika bacanja, dok će aerobni biti potreban u pauzama unutar borbe te za što bolji oporavak između borbi ili u ovom slučaju unutar faza testa.

Također, još jedan rad navodi kako se judo borba sastoji od perioda aktivnosti visokog intenziteta koje traju najviše 18 – 25 sekundi s „pauzama“ u prosjeku 10 sekundi te da je zbog toga najveći doprinos glikolitičkog sustava koji ovisi o anaerobnoj glikolizi. Međutim, autori tog rada ukazuju i na važnost oksidativnog sustava jer se pokazalo da najbolji judaši imaju aerobnu snagu veću od prosjeka što im pomaže u iskorištavanju mliječne kiseline, odnosno u bržem oporavku između borbi tijekom turnira, a to može biti ključno za uspjeh i izvedbu judaša koji tijekom turnira mogu imati između 5 i 8 borbi (Sikorski, 2010).

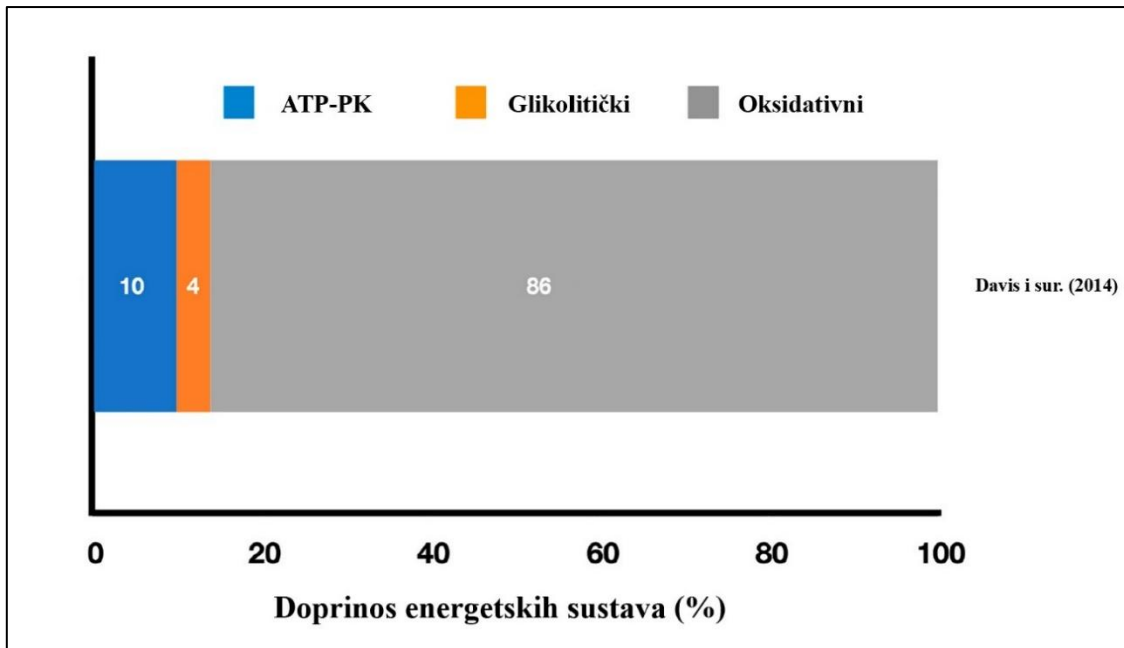
Nešto drugačije istraživanje, tj. specifično usmjereno na usporedbu doprinosa energetskih sustava u *Wingate* testovima na gornjem i donjem dijelu tijela judaša proveli su Julio i sur. (2019). Zanimljivi su rezultati koji su pokazali slične vrijednosti doprinosa oksidativnog (21 % za gornji i 23 % za donji dio tijela) i fosfagenog sustava (29 % za gornji i 32 % za donji dio tijela), dok je doprinos glikolitičkog sustava bio veći u gornjem dijelu tijela (50 %) u odnosu na donji dio tijela (45 %). U svakom slučaju istraživanje je ponovno pokazalo najveći doprinos i značaj glikolitičkog energetskog sustava u judo borbi, s naglaskom na njegov doprinos u gornjem dijelu tijela što je povezano s većim značajem, intenzitetom i trajanjem aktivnosti koje se izvode gornjim ekstremitetima prilikom „borbe za gard“ ili izvođenja tehnika bacanja.

## 3.2. Boks

Boks je jedna od najstarijih borilačkih vještina koja se prvi puta spominje davne 3000. godine pr. Kr. u starom Egiptu. Njegov razvoj odvijao se kroz stoljeća te je svoje sadašnje „okvire“ prvi puta dobio 1743. godine kad je Jack Broughton napisao prva pravila kako bi boksače zaštitio od nepoželjnih ozljeda. Daljnji razvoj boksačkog sporta doveo je i do mnogih promjena pravila te na kraju i uvođenja suca u ring tek 1931. godine. Na olimpijskim igrama, amaterski boks je uvršten 1904. godine u St. Louisu, dok je zanimljivo spomenuti kako je ženski boks svoju premijeru imao tek 2012. godine na igrama u Londonu (IBA, 2021). U boksačkom meču na olimpijskom turniru boksači mogu nastupati u jednoj od 7 težinskih kategorija, dok boksačice mogu nastupiti u jednoj od 6 kategorija. Pravilo o trajanju borbe u amaterskom boksu propisuje 3 runde po 3 minute s minutom pauze između rundi. U borbi je obavezno nošenje suspenzora te kacige. Borbu sudi 5 bodovnih sudaca koji su smješteni oko ringa te na kraju svake runde moraju proglasiti pobjednika dodjeljivanjem određenog broja bodova (maksimalno 10). Pri određivanju pobjednika po završetku borbe računaju se bodovi svih pet sudaca, ukoliko borba nije završila nekim drugim ishodom (nokaut, tehnički nokaut ili prekid borbe od strane suca) (IBA, 2024).

Proveden je nemali broj istraživanja koja su proučavala doprinos pojedinih energetske sustava u boksu, a u nastavku će biti spomenuta nekolicina.

Franchini (2023) je u svom preglednom radu pokazao rezultate rada Davis, Leithäuser i Beneke (2014) koji su pokazali da je u simuliranom olimpijskom boksačkom meču doprinos oksidativnog sustava čak 86 %, dok fosfageni i glikolitički sustav doprinose vrlo malo i to s 10 %, odnosno 4 %. Nadalje, kao što je prikazano na Slici 2., Davis i sur. (2014) otkrili su da je apsolutni oksidativni doprinos bio niži u prvoj u usporedbi s drugom i trećom rundom, dok je apsolutni glikolitički doprinos bio veći u prvoj rundi u usporedbi s drugom i trećom rundom. Unatoč nekim promjenama u doprinosima energetske sustava, boksači su povećali broj napada u trećoj rundi u usporedbi s drugom, ali svi ostali parametri kretanja ovisni o vremenu nisu se mijenjali. Autori su također ukazali na činjenicu da su boksači 97 – 100 % maksimalnog primitka kisika ( $VO_{2peak}$ ) postigli tijekom zadnjih 20 sekundi svake runde, što pokazuje važnost razvijanja aerobne snage ovih sportaša. Također, to je gotovo dvostruko više od postotka koji su postigli karataši u drugom istraživanju (Doria i sur., 2009) što ukazuje na značajnu razliku između ovih dvaju borilačkih sportova u smislu primitka kisika tijekom borbe.



Slika 2. Doprinos energetskih sustava u simuliranim boksačkim borbama (izvor: Franchini, 2023.)

S obzirom na zahtjeve pojedinog sporta, ali i dobne razlike sportaša s kojima se treneri u svojoj karijeri i današnjem sportskom svijetu mogu susresti, zanimljivo je spomenuti rezultate istraživanja Khanna i Manna (2006) koji su ukazali na to da je kod boksača juniorskog uzrasta uočen značajno niži aerobni kapacitet i anaerobna snaga u odnosu na seniore. Isto tako, izmjereni su i značajno više vrijednosti maksimalnih otkucaja srca i otkucaja srca tijekom oporavka kod seniora u usporedbi s juniorima.

Neovisno o dobnom uzrastu, utvrđeno je da koncentracija laktata u krvi raste s trajanjem boksačke runde ili intenzitetom testa. Iz navedenog se daje zaključiti da je aerobni energetski sustav dominantan u boksačkom sportu, dok anaerobni – laktatni ili glikolitički sustav ima to veći doprinos što je trajanje borbe ili runde dulje, odnosno što se intenzitet unutar iste više povećava. Također, autori navode kako je za razvoj i aerobnog i anaerobnog energetskog sustava u program treninga boksača potrebno uključiti visoko – intenzivan i dugotrajan intervalni trening da bi se ostvarila što uspješnija izvedba sportaša (Khanna i Manna, 2006).

Nadalje, jedno je istraživanje ispitivalo učinke smanjenja unosa energije i tekućine na 2 simulirana boksačka meča u kojem je sudjelovalo 8 boksača amatera. Istraživanje je provedeno na sljedeći način: boksači su u prvoj fazi u normalnim uvjetima (bez restrikcije unosa energije i tekućine, s unosom od prosječno 2294 kcal i 2,4 l tekućine) odradili 2 simulirana boksačka meča odvojena s 2 dana oporavka tako da je svaka faza istraživanja trajala 5 dana. U drugoj fazi, nakon 9 dana tijekom kojih nisu bili na restrikciji, ponovili su isto, ali su bili na restrikciji

unos energije i tekućine, s prosječnim unosom energije od 936 kcal i 0,9 L tekućine. Borbe su se sastojale od 3 runde po 3 minute s minutom odmora. Osim tjelesne mase mjereni su i praćeni otkucaji srca, koncentracija laktata u krvi, glukoza u krvi te je određivana snaga udarca u obje faze istraživanja. U drugoj fazi, fazi restrikcije, tjelesna masa boksača smanjila se za 3 % što je i očekivano jer je unos energije i tekućine bio značajno manji nego u prvoj fazi. Također, koncentracije laktata u krvi boksača su u prvoj fazi bile nešto veće (prosječno 5,7 mM), nego u fazi restrikcije (4,6 mM) što upućuje na nešto veći doprinos glikolitičkog energetskeg sustava u drugoj fazi istraživanja. Ostali rezultati su pokazali kako su boksači imali nešto manju snagu udarca tijekom faze restrikcije, ali da ti podaci nisu bili statistički značajni što upućuje na to da smanjen unos energije i tekućine, tj. konkretni gubitak na tjelesnoj masi zbog „ulaska“ u kategoriju prije samog turnira, ne dovodi do značajnog smanjenja izvedbe, ali su autori napomenuli da rezultate ovog istraživanja zbog male veličine uzorka i velikih varijacija u pojedinačnim izvedbama treba tumačiti s oprezom (Smith i sur., 2001). Tako je suprotno rezultatima prethodnog rada, istraživanje Hall i Lane (2001) pokazalo kako su gubitak tjelesne mase i restrikcija unosa tekućine zbog zadovoljavanja težinske kategorije bili povezan s lošijom izvedbom, povećanom ljutnjom, umorom i napetošću te smanjenom snagom zbog čega rezultate treba pažljivo interpretirati.

### 3.3. Karate

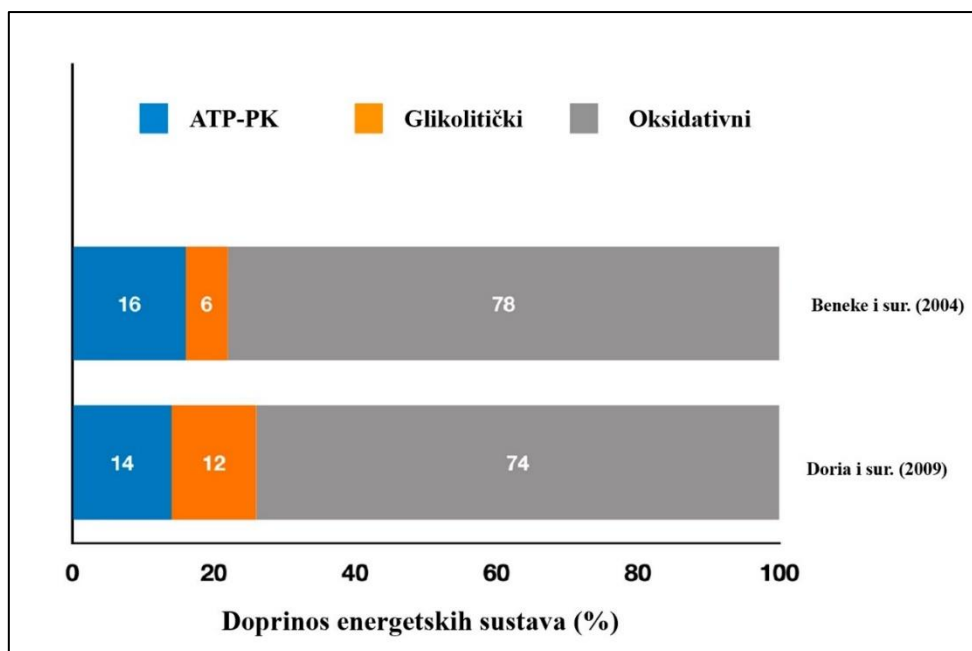
Karate je borilačka disciplina koja koristi udarce i obrambeno blokiranje rukama i nogama. Potječe iz Japana, točnije s otoka Okinawe te se razvijao stoljećima, a sistematiziran je u 17. stoljeću. Naglasak u karateu stavljen je na pokušaj usmjeravanja što više snage u jednu točku u trenutku udarca, ali isto tako i kontroli udarca, koji se kratko zaustavlja, po mogućnosti nekoliko centimetara od protivnika (Britannica, 2024). Discipline u karateu mogu se podijeliti na *kumite* (borbe) i *kate* („borbe“ sa zamišljenim protivnikom). Borbe u seniorskom karateu traju 3 minute, a kako bi pobijedio, sportaš mora osvojiti 8 bodova prednosti, imati više bodova ili diskvalificirati protivnika. U slučaju kada borba završi izjednačenim rezultatom ista se nastavlja dok jedan od natjecatelja ne osvoji prednost prvog boda ili *senshu*. Borilište predstavlja kvadratna površina dimenzija 8x8 metara prekrivena tankom *tatami* strunjačom (WKF, 2024). Natjecatelji nose bijeli kimono te crveni ili plavi pojas. Obavezno je nošenje rukavica te štitnika za potkoljenice i zube. Udarci se mogu usmjeriti prema rukama, laktovima, koljenima ili peti protivnika. Osim borbi u karateu se održavaju i *kata* natjecanja, u kojima



natjecatelji izvode unaprijed određene serije pokreta simulirajući obranu i napad na zamišljenog protivnika. Karate, kao i druge azijske borilačke discipline, naglašava važnost mentalnog stava, kulturu uljudnosti i složen sustav rangiranja (prema boji pojasa) (Britannica, 2024).

Doprinos i važnost svakog od energetske sustava u karateu detaljnije je prikazana u nastavku. Nagada se da je anaerobni metabolizam dominantan izvor energije u karate borbama, međutim rezultati pojedinih istraživanja pokazuju različite rezultate.

Slika 3. prikazuje rezultate istraživanja Beneke, Beyer, Jachner, Erasmus i Hütler (2004) i Doria i sur. (2009) koja su sažeto prikazana u radu Franchini (2023). Beneke i sur. (2004) proveli su istraživanje na 10 karataša kroz dvije do četiri simulirane borbe uz prisustvo sudaca. Za određivanje doprinosa pojedinih energetske sustava uređajem za spirometriju mjereno je primitak kisika, dok su laktati u krvi određivani neposredno prije i svaku minutu nakon završene borbe. Dobiveni rezultati pokazali su da je aerobni ili oksidativni sustav imao najveći doprinos od 77,8 %, dok su ga slijedili fosfageni sa 16 % te glikolitički sa 6,2 % što pokazuje visoku stopu metabolizma u karate *kumiteu* (borbi). Međutim, aciklički profil aktivnosti ukazuje kako je aerobni metabolizam dominantan izvor energije te da postoji anaerobna nadopuna, uglavnom visokoenergetskim fosfatima. S druge strane, slično istraživanje proveli su Doria i sur. (2009) na 12 karataša od kojih je 6 radilo borbe, a 6 *kate*. Rezultati su kao i u prethodnom istraživanju pokazali slične rezultate, a oni su takvi da je najveći doprinos za borbu imao oksidativni sustav (74 %), dok su ga pratili fosfageni (14 %) i glikolitički (12 %). Za usporedbu je zanimljivo spomenuti kako je u slučaju izvođenja *kata* doprinos energetske sustava bio nešto drugačiji – oksidativni sustav i dalje je prevladavao s 50 %, međutim, glikolitički je sustav imao dvostruko veći doprinos u odnosu na borbe sa 28 %, dok je doprinos fosfagenog sustava bio 22 %. Razlike se vjerojatno mogu pripisati aktivaciji različitih skupina mišića i zahtjevima za kontrolu istih koje su potrebne u ove dvije discipline, kao i vremenskom trajanju disciplina od 4 minute u slučaju borbe te 138 sekundi u slučaju *kata*.



Slika 3. Doprinos energetske sustave u simuliranim karate borbama u dvama istraživanjima (izvor: Franchini, 2023.)

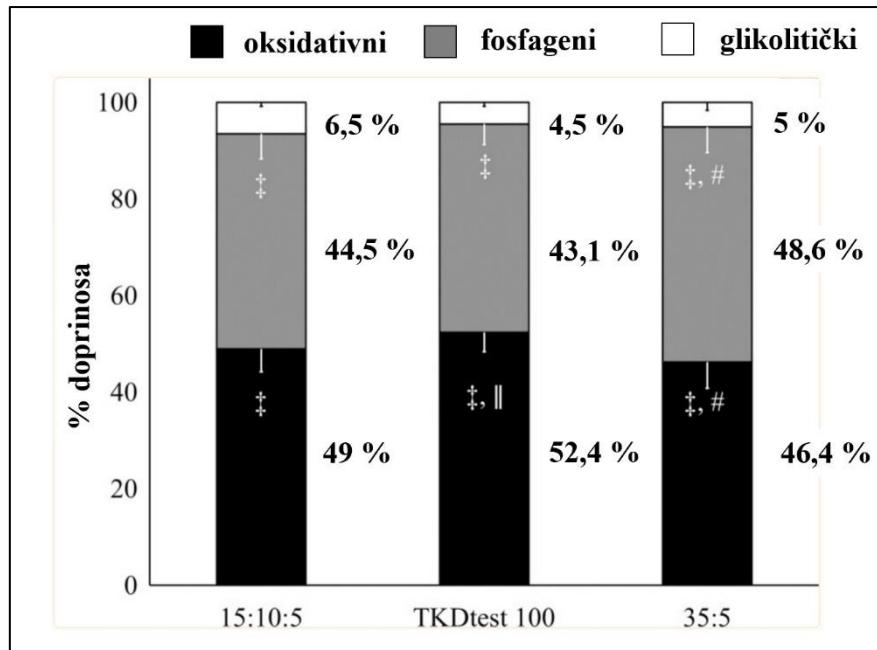
Još jedno, doduše, starije istraživanje proučavalo je doprinos energetske sustave kod osam mladih karataša koji su izvodili 6 *kata* različite duljine, odnosno trajanja od 10 – 80 sekundi. Također su im kao i u prethodnim istraživanjima određivani laktati u krvi, u ovom slučaju 5 min nakon završetka izvođenja *kate* te primitak kisika ( $VO_2$ ) prije, tijekom i 270 sekundi nakon izvođenja aktivnosti. Suprotno prethodno spomenutom istraživanju Doria i sur. (2009) rezultati su pokazali kako je najveći doprinos u slučaju izvođenja *kata* imao anaerobni alaktatni ili fosfageni sustav u rasponu od 46 – 90 %, a slijedili su ga oksidativni s 10 – 41 % te glikolitički s maksimalno 13 %. Autori su iznimno veliki doprinos fosfagenog sustava pripisali visokom intenzitetu izvođene aktivnosti, ali su napomenuli (što je vidljivo i iz samih brojeva, tj. rezultata) kako je udio doprinosa pojedinog energetske sustava varirao ovisno o trajanju aktivnosti, odnosno duljini izvođenja *kate*, pri čemu je veći doprinos fosfagenog sustava bio u slučaju kraćih, u odnosu na dulje *kate* (Francescato, Talon i di Prampero, 1995).

### 3.4. Taekwondo

Taekwondo je olimpijski borilački sport koji status olimpijskog sporta ima od 2000. godine kada je prvi put predstavljen u Sydneyu. U taekwondou se sve borbe od kvalifikacija do finala odvijaju u jednom danu. Sportaši se natječu u određenoj težinskoj kategoriji (8 muških i 8

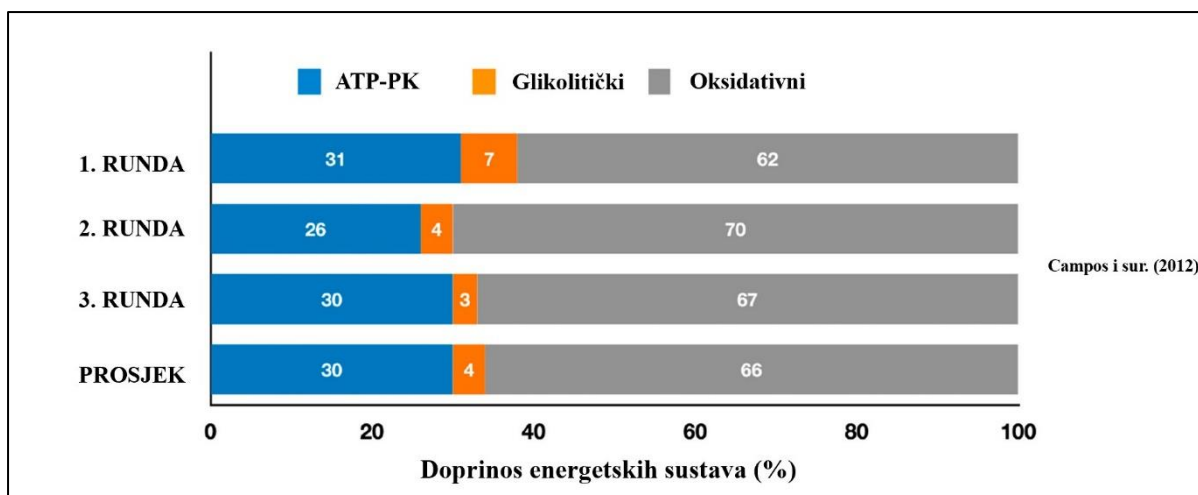
ženskih) koja se kontrolira službenim vaganjem, dok na olimpijskim igrama ima upola manje kategorija, odnosno 4 muške i 4 ženske jer dolazi do spajanja po 2 kategorije. Borba traje 6 minuta, ali je podijeljena na 3 runde po 2 minute s pauzom od 1 minute između rundi. Ako je nakon 3 runde rezultat izjednačen, ulazi se u 4. rundu koja traje 1 minutu te se naziva i „zlatna runda“. Borilište može biti kvadratna površina dimenzija 8x8 metara ili osmerokutna površina promjera oko 8 m, dok svaka stranica osmerokuta mora imati duljinu od približno 3,3 m (WT, 2023). Taekwondo je sport koji pokazuje dominaciju doprinosa aerobnog sustava u borbama, ali i značajno „sudjelovanje“ anaerobno – alaktatnog metabolizma za aktivnosti visokog intenziteta u borbi (npr. udarci) koje određuju natjecateljski uspjeh. Međutim, nema podataka o doprinosu energetske sustava u različitim visoko – intenzivnim intervalnim aktivnostima u specifičnim pokretima (Bartel, Coswig, Protzen i Del Vecchio, 2022).

U radu Bartel i sur. (2022) sudjelovala su devetorica taekwondo sportaša „nosioci“ crnog pojasa na kojima su provedeni specifični progresivni taekwondo test i 3 različita visoko – intenzivna intervalna treninga u tri 2–minutne runde s minutom oporavka. Provedeni su: 15:10:5 protokol koji je uključivao 4 bloka rada, u trajanju od 15 sekundi za pripremu, 10 sekundi za seriju 5 polukružnih udaraca s frekvencijom svake 2 sekunde te 5 sekundi za „all–out“ polukružne udarce, zatim TKD (engl. *Taekwondo incremental test*) protokol na 100 %  $VO_{2max}$  s kontinuiranim izvođenjem udaraca te 35:5 trening protokol koji se sastojao od 3 bloka po 40 sekundi, odnosno 35 sekundi pripreme udarca isprekidanih s 5 sekundi polukružnih udaraca nogom. Osim brzine otkucaja srca, mjereni su i primitak kisika te laktati u krvi odmah nakon aktivnosti iz kojih su onda određeni doprinosi svakog od energetske sustava. Pokazalo se da je u prosjeku oksidativni sustav prevladavao pri izvođenju specifičnog taekwondo testa i iznosio 52,6 %, dok je kod 15:10:5 i 35:5 testa apsolutni i relativni doprinos aerobnog i anaerobnog – alaktatnog ili fosfagenog sustava bio sličan te se kretao u rasponu od 40 – 50 %. Rezultati ovog istraživanja prikazani su i na Slici 4. gdje je navedeni prosječni doprinos sustava i vidljiv.



Slika 4. Doprinos energetske sustava u 3 različita testa u taekwondou (izvor: Bartel i sur., 2022.)

Nadalje, spomenuti Franchini (2023) je u svom preglednom radu pokazao i rezultate rada Campos, Bertuzzi, Dourado, Ferreira Santos i Franchini (2012) koji su vidljivi i na Slici 5. Prikazani su rezultati doprinosa energetske sustava u simuliranim taekwondo borbama trajanja 3 puta po 2 minute s minutom odmora, jednako kao i u prethodno spomenutom radu. Vidljivi su rezultati u svakoj pojedinoj rundi borbe, kao i prosječni doprinos energetske sustava u cijeloj borbi. Ponovno, oksidativni sustav je najznačajniji sustav koji se koristi kao izvor energije te je njegov doprinos bio prosječno 66 %, dok su fosfageni i glikolitički sustav doprinijeli s 30 %, odnosno 4 %. Autori ističu kako su se, unatoč jednakim vremenima napada, broju napada, ukupnom vremenu napada i ukupnom vremenu bez napada u svakoj rundi borbe, doprinosi energetske sustava razlikovali. Specifično, oksidativni sustav manje je dominirao u prvoj rundi, dok se ukupni doprinos glikolitičkog sustava smanjivao kroz runde. Značajno je napomenuti i kako je fosfageni sustav imao isti apsolutni i relativni doprinos kroz sve tri runde, što pokazuje kako su jednogminutni intervali između rundi bili dovoljni za pravilnu resintezu zaliha fosfokreatina. Također, aktivnosti visokog intenziteta unutar borbe većinom su pod utjecajem fosfagenog sustava zbog čega je resinteza kreatin – fosfata između rundi vjerojatno održavala broj i vrijeme napada, kao i ukupno vrijeme napada konstantnim tijekom cijele borbe (Franchini, 2023).



Slika 5. Doprinos energetske sustave u 3 runde po 2 minute simuliranih taekwondo borbi te prosječnim vrijednostima cijele borbe (izvor: Franchini, 2023.)

Također, zanimljivo istraživanje proveli su i Yang, Heine i Grau (2018) u kojem su procjenjivali doprinos energetske sustave tijekom simuliranog taekwondo natjecanja koje se sastojalo od tri borbe u razmaku od sat vremena, u kontrolnoj skupini te u skupini 5 taekwondoša koji su „skidali kilograme“ kroz 3 i pol dana te na taj način izgubili 5 % tjelesne mase, ali su imali i 16 sati za oporavak između vaganja i simuliranog natjecanja. Rezultati istraživanja pokazali su da je jedina značajna razlika bio veći apsolutni i relativni glikolitički doprinos u trećoj borbi u skupini koja je skidala kilograme (8 %) u usporedbi s kontrolnom skupinom (5 %) što su autori objasnili činjenicom da su sportaši u skupini koja je skidala kilograme izveli više udaraca i napada tijekom prve i treće borbe u odnosu na kontrolnu skupinu što je vjerojatno doprinijelo i većem doprinosu glikolitičkog sustava u toj skupini. Jedan od značajnih zaključaka ovog istraživanja bio je i da je 16 sati oporavka nakon vaganja bilo dovoljno da mršavljenje u kratkom periodu ne naštetiti izvedbi taekwondoša te da akcije ili napadi u borbi mogu dovesti do veće aktivacije glikolitičkog sustava u usporedbi s kontrolnom skupinom koja nije „gubila kilograme“. Iz navedenog se može naslutiti da suprotno intuitivnoj prosudbi, brzi gubitak tjelesne mase može koristiti izvedbi taekwondo sportaša, odnosno da ne dovodi do „pada“ u izvedbi, a taj zaključak podupire i gore spomenuto istraživanje Smith i sur. (2001) provedeno na boksačima koje je pokazalo da gubitak tjelesne mase od 3 % također ne dovodi do značajnog smanjenja izvedbe.

### 3.5. Hrvanje

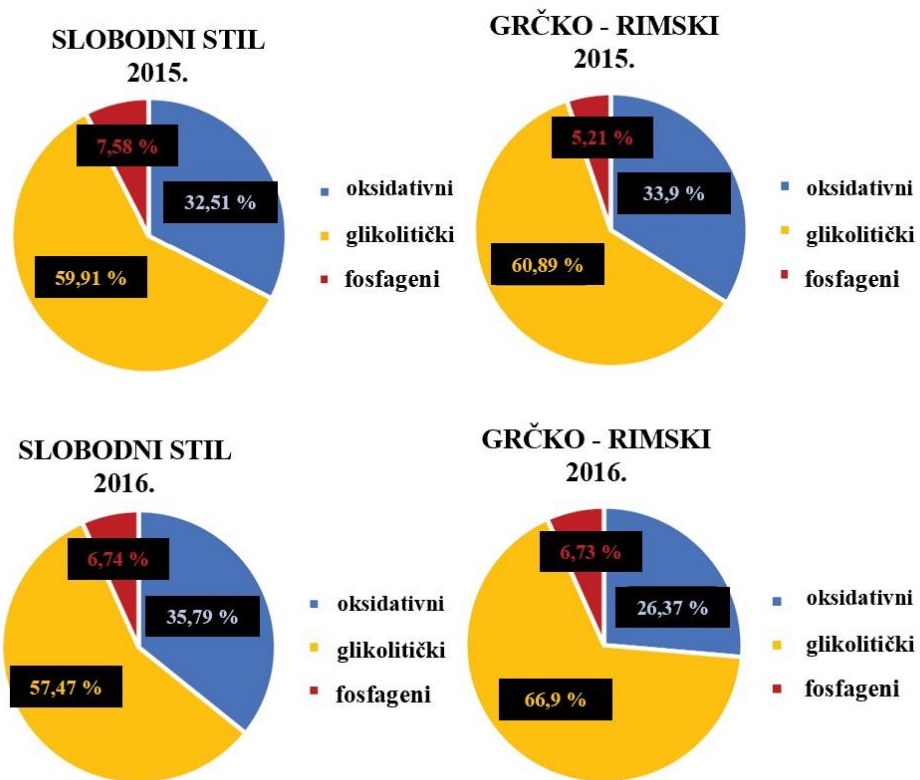
Povijesni zapisi o hrvanju kao sportu i tjelesnoj aktivnosti stari su više od 5000 godina. Kroz povijest, hrvanje se najviše cijeni u antičkoj Grčkoj, gdje su ga smatrali vještinom i umjetnošću. Natjecanja su se u staroj Grčkoj i Rimu održavala slobodnim načinom, dok je današnji grčko – rimski stil nastao u 15. stoljeću u francuskoj oblasti Rhone i Garhonne. Razlika ovih dvaju stilova očituje se u činjenici da su u grčko – rimski stil uzeti pozitivni etički principi hrvanja drevnih Grka, ali su zabranjeni svi opasni i bolni zahvati te borba s hvatom za noge, kao i korištenje nogu. Hrvanje je jedan od rijetkih sportova koji je na olimpijskim igrama od samih početaka, od onih prvih održanih u Grčkoj 776. godine pr. Kr., ali i onih prvih modernih održanih 1896. također u Grčkoj, u Ateni (Baić, 2021). Danas se hrvačka borba odvija na strunjači promjera 9 m, a traje 6 minuta, odnosno 2 puta po 3 minute s 30 sekundi odmora. Pobjednik je onaj koji na kraju regularnog vremena ima više bodova. Ranija, tj. automatska pobjeda može se ostvariti „padom“ jednog borca, odnosno izvođenjem bacanja od strane protivnika koja dovodi do pada na leđa ili ukoliko je razlika u bodovima veća ili jednaka 8 bodova u grčko – rimskom stilu, odnosno 10 bodova u slobodnom stilu i hrvanju za žene (UWW, 2023).

Hrvačka borba je tjelesna aktivnost promjenjivog intenziteta koju karakteriziraju ponavljajući, iznenadni, eksplozivni napadi i protunapadi. Upravo zato se, kao i u mnogim drugim sportovima, energetske sustavi koriste u različitim stupnjevima. Anaerobni sustav najviše je odgovoran za brze aktivnosti maksimalne snage tijekom borbe, dok aerobni sustav doprinosi sposobnosti hrvača da održi konstantan učinak tijekom borbe i da se uspije oporaviti između rundi (Mirzaei, Moghaddam i Abadi, 2017). Međunarodna hrvačka federacija je 2013. godine promijenila brojna hrvačka pravila. Konkretno, ukupno trajanje borbe ostalo je 6 minuta, ali sada su to, već spomenute, 2 runde po 3 minute, dok su prije to bile 3 runde po 2 minute. Također, promijenjeni su i neki kriteriji suđenja. Upravo zbog tih promjena, koje su produžile rundu za 1 minutu, očekivan je veći doprinos aerobnog energetskeg sustava. Kako navode Ohya i sur. (2015) nekoliko je prijašnjih istraživanja već pokazalo da veći aerobni kapacitet može pridonijeti poboljšanju, tj. ubrzanju oporavka tijekom ponavljanja anaerobnih intervala. Analiza vremenskog kretanja tijekom borbe pokazala je da su profesionalni hrvači prosječno imali 16 aktivnosti visokog intenziteta te da je svaka takva sekvenca napada trajala otprilike 3 sekunde, s prosječnim razdobljem oporavka od 23,6 sekunde. Autori su zaključili da, iako se prema dosadašnjim rezultatima aerobni sustav ne može smatrati glavnim uvjetom

za uspjeh u hrvanju, veći, odnosno poboljšani aerobni kapacitet japanskih elitnih hrvača, posebno u teškim kategorijama, može pridonijeti poboljšanju njihove hrvačke izvedbe.

Kada se govori o doprinosu energetske sustava u hrvanju cilj jednog dostupnog istraživanja bio je analizirati energetske sustave kod hrvača grčko – rimskim i slobodnim stilom koji su sudjelovali na svjetskim prvenstvima 2015. i 2016. godine. Kao materijali za analizu korišteni su svi videozapisi borbi koji su bili dostupni na internetskoj stranici Svjetske hrvačke federacije. Podaci su precizno bilježeni na posebno izrađene obrasce te je ustanovljen relativni doprinos energetske sustava u hrvačkoj borbi. Pokazalo se da postoje razlike u relativnom doprinosu energetske sustava u stilovima hrvanja na Svjetskom prvenstvu. Također, rezultati su pokazali da hrvači slobodnim stilom općenito postižu više bodova od grčko – rimskih hrvača. Osim samog doprinosa energetske sustava, istraživana je i natjecateljska učinkovitost vrhunskih hrvača te je ustanovljeno da postoji statistički značajna razlika između hrvača koji su osvojili zlatnu medalju u odnosu na ostale natjecatelje, odnosno da su pobjednici pokazali bolju natjecateljsku učinkovitost.

Relativni doprinos fosfagenog sustava bio je manji od 10 %, ali je važno napomenuti kako on ima odlučujuću ulogu u borbi jer su gotovo svi ključni potezi rezultat eksplozivnih i brzih radnji. Dodatno, rezultati su pokazali da je relativni doprinos glikolitičkog sustava bio oko 60 %. Prema tome, moglo bi se zaključiti da je priroda hrvanja prvenstveno anaerobna, što je u skladu s ranije provedenim istraživanjima (Horswill, 1992 i Mirzaei, Curby, Nia-Rahmani i Moghadasi, 2009). Neizostavno je spomenuti i da je relativni doprinos oksidativnog sustava bio oko 30 % kao što prikazuje i Slika 6 (Mirzaei i sur., 2017).



Slika 6. Doprinos energetske sustave u hrvatskim borbama na Svjetskim prvenstvima 2015. i 2016. godine (izvor: Mirzaei i sur., 2017.)



## 4. RAZVOJ ENERGETSKIH SUSTAVA U BORILAČKIM SPORTOVIMA

Fiziološka analiza dio je kineziološke analize i pomoću nje je moguće dobiti informacije o zahtjevima sporta, tjelesne aktivnosti ili trenažnog programa, konkretnije o dominaciji energetske procesa za vrijeme izvođenja pojedinog programa treninga. Dominacija energetske procesa precizno se može utvrditi mjerenjem potrošnje kreatin – fosfata, odnosno mišićnog glikogena mišićnom biopsijom ili praćenjem primitka kisika ( $VO_2$ ) prijenosnim spiroergometrom. Fiziološke varijable koje se promatraju u praksi su frekvencija srca, koncentracija laktata u krvi i subjektivna procjena opterećenja (engl. *ratings of perceived exertion*, RPE) (Bok, 2021a).

Frekvencija srca i  $VO_2$  su varijable koje daju odgovor o radu srčano – žilnog i dišnog sustava, tj. vezane su uz treninge aerobne izdržljivosti, a zbog njihove linearne povezanosti u progresivnom ili stabilnom kontinuiranom opterećenju dominantno se koristi frekvencija srca. Koncentracija laktata u krvi služi kao mjera udjela anaerobnog rada tijekom treninga aerobne izdržljivosti i koristi se kao zamjena za koncentraciju laktata u mišićima zbog povezanosti sa snižavanjem pH vrijednosti te mišićnim umorom. Treba napomenuti da je to invazivna metoda koja ima određena ograničenja. Nadalje, subjektivna procjena opterećenja predstavlja doživljeni napor sportaša kao odgovor na provedbu treninga te se može vrednovati na skali 6 – 20 ili 0 – 10. Sadrži informacije o naporu u mišićima, zglobovima, srčano – žilnom i dišnom te živčanom sustavu. Često se upotrebljava u praksi jer je jednostavna za korištenje te pruža veliki broj informacija o opterećenju.

Određivanje aerobnog i anaerobnog laktatnog praga važno je za kvalitetno programiranje aerobnih treninga. Aerobni ekstenzivni trening provodi se kontinuiranom metodom rada do i oko aerobnog laktatnog praga. S druge strane, anaerobni laktatni prag određuje aerobni intenzivni trening jer se on upravo provodi u zoni oko praga. Visoko – intenzivni intervalni trening ili aerobni intervalni trening (engl. *high intensity interval training*, HIIT) je tip treninga kojim je moguće značajno unaprijediti primitak kisika te se može programirati u obliku kratkog i dugog formata, a provodi se iznad anaerobnog laktatnog praga. Zbog različite dinamike promjene frekvencije srca i primitka kisika naročito u kratkim intervalima frekvencija srca ne može pratiti promjenu u intenzitetu iznad brzine pri  $VO_{2max}$  ( $vVO_{2max}$ ) pa se kao mjeru intenziteta rada koristi postotak spomenute brzine. Nadalje, anaerobni glikolitički trening ili engl. *sprint interval training* (SIT) provodi se maksimalnim intenzitetom, a s obzirom na

dominaciju glikolitičkog energetskeg sustava najčešće se provodi u intervalima od 20 sekundi do 2 minute s odmorom između intervala od 2 – 4 minute. Cilj ove vrste treninga je povećati anaerobni glikolitički kapacitet i toleranciju na visoku koncentraciju laktata u krvi što znači da će sportaš moći provoditi intenzivnije, ali i dulje intervale rada maksimalnim intenzitetom zbog veće razine mišićnog glikogena. Prije pregleda nekih od dostupnih radova vezanih uz konkretan razvoj energetskeg sustava u borilačkim sportovima potrebno je spomenuti i anaerobni fosfageni trening koji se zapravo odnosi na RST ili engl. *repeated sprint training* upravo zato jer se provodi maksimalnim sprintom, tj. pri maksimalnom intenzitetu. Obzirom da sami intervali traju kratko frekvencija srca i  $VO_2$  dosežu vrijednosti od 60 – 70 %  $FS_{max}$ , odnosno  $VO_{2max}$ , ali se između intervala rada primjenjuju dulji intervali odmora pa trening može trajati i 30 – 60 minuta. Glavni cilj ovog treninga je povećati anaerobnu fosfagenu izdržljivost ili jednostavnije rečeno, brzinu sprinta (Bok, 2021b).

#### 4.1. Trening za razvoj izdržljivosti

Cilj istraživanja Ravier, Dugue, Grappe i Rouillon (2009) bio je istražiti učinke visoko – intenzivnog intervalnog treninga (HIIT) dva puta tjedno tijekom 7–tjednog treninga karatea na markere aerobnog i anaerobnog metabolizma kod profesionalnih karataša. Proučavane su dvije skupine: KT skupina koja je slijedila tradicionalni karate trening i skupina koja je slijedila kombinirani tradicionalni karate i visoko – intenzivni trening. Određivani su i laktati u krvi, pH i amonijak u plazmi u mirovanju, na kraju treninga te tijekom perioda oporavka (nakon 2, 4, 6, 8, 10 i 15 min) te maksimalni primitak kisika prije i nakon treninga kako bi se odredio doprinos pojedinih energetskeg sustava. Rezultati su bili značajni s obzirom da se pokazalo kako je skupina koja je ubacila dva HIIT treninga u svoj tjedni raspored treninga produljila vrijeme nakon kojeg dolazi do iscrpljenosti, poboljšala maksimalni akumulirani nedostatak kisika (engl. *maximal accumulated oxygen deficit*, MAOD) i  $VO_{2max}$  u testu maksimalnog primitka kisika i to za, redom, 23,6 %, 10,3 % odnosno 4,6 %. Također, uočena je i viša maksimalna vrijednost laktata (+53,7 %) i niža najniža pH vrijednost, u usporedbi s vrijednostima dobivenim prije provođenja istraživanja, odnosno perioda treninga. S druge strane, u kontrolnoj skupini nisu uočene nikakve promjene po završetku perioda istraživanja. Iz navedenog se može zaključiti kako dodatak HIIT treninga dva puta tjedno tijekom razdoblja karate treninga može izazvati korisne fiziološke prilagodbe kod sportaša, u vidu sposobnosti odrađivanja HIIT treninga duljeg trajanja prije pojave umora (Ravier i sur., 2009).

Nadalje, Vasconcelos i sur. (2020) su napisali pregledni rad na temu učinka HIIT treninga kao metode za održavanje i poboljšanje fizičke spremnosti boraca u različitim borilačkim sportovima (judo, taekwondo, jiu-jitsu, boks, karate, hrvanje itd.) na temelju 12 istraživanja koje je uključivalo ukupno 255 ispitanika. Analizirali su aerobne (aerobni kapacitet, broj otkucaja srca i maksimalni primitak kisika) i anaerobne (vršna i srednja snaga u jednom i uzastopnim *Wingate* testovima i koncentracija laktata u krvi) sposobnosti. Od spomenutog broja istraživanja, 5 je koristilo HIIT, 4 su koristila RST (engl. *repeated sprint training*) protokol, jedno je koristilo SIT (engl. *sprint interval training*) protokol, a jedno intervalni protokol treninga koji se nije mogao klasificirati, kao metodu za razvoj energetske sustava. Što se tiče aerobne snage, utvrđeno je povećanje  $\dot{V}O_{2max}$ , s prosječnom razlikom od 2,83 ml  $kg^{-1}min^{-1}$  za udaračke i 2,36 ml  $kg^{-1}min^{-1}$  za *grappling* borilačke sportove. Također, kod „udarača“ nisu pronađene razlike u vršnoj anaerobnoj snazi, dok je ustanovljeno statističko poboljšanje kod *grappling* boraca. Zaključak ove opsežne analize bio je da HIIT pozitivno utječe na maksimalni primitak kisika i anaerobnu snagu kod sportaša borilačkih sportova.

Istraživanje provedeno na judašima imalo je za cilj usporediti utjecaj različitih judo tehnika u obliku *uchi – komi* (ponavljajuće izvođenje tehnike bez bacanja) protokola na fiziološke odgovore te izvedbu. U istraživanju je sudjelovalo 10 ispitanika koji su izvodili 3 judo tehnike (*o-uchi-gari*, *seoi-nage* i *harai-goshi*) u 3 različita intervala (18 x 10 sekundi uz 10 sekundi odmora, 9 x 20 sekundi uz 20 sekundi odmora i 6 x 30 sekundi uz 30 sekundi odmora). Rezultati su pokazali kako se potrošnja kisika razlikovala unutar samih intervala aktivnosti, s nižim vrijednostima tijekom prve minute ( $32,51 \pm 3,21$  ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ) u usporedbi s drugom ( $41,47 \pm 4,20$  ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ) i trećom minutom ( $42,96 \pm 4,29$  ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ). Također, uočen je učinak tehnike na ukupnu potrošnju energije po ponavljanju, pri čemu je tehnika *o-uchi-gari* rezultirala nižim vrijednostima u usporedbi sa *seoi-nage*, budući da prva tehnika ne uključuje rotaciju trupa i fleksiju koljena, dok druga tehnika uključuje. Značajni zaključci izvedeni su i iz rezultata koji su pokazali da je najkraći protokol (18 x 10 sekundi/10 sekundi) rezultirao s većim vrijednostima primitka kisika tijekom rada, što sugerira da se takav specifični visoko – intenzivni intervalni trening može koristiti u judu kada je glavni cilj razvoj aerobne snage. U usporedbi s rezultatima simulacija borbi te samih borbi na turnirima *uchi – komi* protokoli provedeni u ovom istraživanju rezultirali su sličnim odgovorima na primitak kisika i puls, dok je koncentracija laktata u krvi bila niža u ovom istraživanju, najvjerojatnije zbog izostanka *kumi – kate* (borbe za gard) koja je prisutna u borbi. Stoga bi uključivanje borbe za gard

pomoglo u povećanju doprinosa i razvoju glikolitičkog energetskeg sustava. Još jedan važan zaključak bio je da se puls nije značajno razlikovao među tehnikama ili vremenskim intervalima, dok su se potrošnja energije i broj izvedenih tehnika razlikovali u različitim uvjetima, što upućuje na to da se puls ne bi trebao koristiti za praćenje intenziteta treninga u HIIT protokolu (Franchini, Panissa i Julio, 2013).

Svrha jednog istraživanja provedenog na hrvačima u Iranu bila je ispitati učinke programa SIT treninga (engl. *sprint interval training*) kroz 4 tjedna na odabrane aerobne i anaerobne parametre izvedbe, te hormonske i hematološke prilagodbe, koje se dodaju tradicionalnom treningu hrvača u predsezoni. Za potrebe provedbe istraživanja 15 treniranih hrvača podijeljeno je u eksperimentalnu ili kontrolnu skupinu pri čemu su obje skupine slijedile klasičnu pripremnu fazu treninga koja se sastojala od učenja i usavršavanja tehnika, hrvanja i treninga s utezima tijekom 4 tjedna. Osim toga, eksperimentalna skupina provodila je SIT protokol koji se sastojao od 6 maksimalnih sprinteva od 35 m s fazom oporavka od 10 sekundi između svakog sprinta. SIT protokol proveden je 2 puta tjedno tijekom razdoblja istraživanja.

Prije i nakon provođenja istraživanja svakom su ispitaniku određeni sljedeći parametri: maksimalni primitak kisika ( $VO_{2max}$ ), maksimalna ventilacija i vršni puls kisika te su provedeni i test vremena do izdržljivosti pri maksimalnoj aerobnoj brzini ( $vVO_{2max}$ ) te 4 uzastopna *Wingate* testa s oporavkom od 4 minute između pokušaja kako bi se ustanovilo postoji li razlika između ispitivanih skupina na početku i kraju istraživanja, a također u oba su slučaja uzeti i uzorci krvi ispitanika. Rezultati su pokazali kako je eksperimentalna skupina imala značajna poboljšanja  $VO_{2max}$  (+5,4 %), vršnog pulsa kisika (+7,7 %) i vremena do izdržljivosti (+32,2 %) u usporedbi s prvim testiranjem, ali i povećanja vršne i srednje izlazne snage (engl. *peak power output* i *mean power output*, PPO i MPO) tijekom *Wingate* testiranja u usporedbi s predtestiranjem. Ovi su rezultati pokazali kako dodatak SIT programa s kratkim vremenom oporavka može poboljšati i aerobne i anaerobne parametre izvedbe kod hrvača tijekom predsezona. Osim toga uočene su i određene hormonalne promjene koje upućuju na anaboličku prilagodbu na trening (Farzad i sur., 2011).

## 4.2. Trening s opterećenjem

Noviji rad kineza Huang i sur. (2023) napisan je nakon 8-tjednog istraživanja specifičnih trening protokola za taekwondošaše i njihov utjecaj na eksplozivnu snagu gornjih i donjih ekstremiteta i aerobni kapacitet. Autori su istraživanje proveli na način da je 30 taekwondošaša podijeljenih u dvije skupine izvelo 2 tipa trening protokola: vježbe progresivnog opterećenja (engl. *autoregulatory progressive resistance exercise*, APRE) ili trening s opterećenjem temeljen na brzini (engl. *velocity-based resistance training*, VBRT), a njihovi su učinci praćeni kroz sljedeća testiranja: jedno ponavljanje maksimalnog čučnja, skok s pripremom (engl. *counter movement jump*, CMJ), specifični taekwondo anaerobni test udaraca (engl. *taekwondo anaerobic intermittent kick test*, TAIKT) i *Wingate* anaerobni test u trajanju od 30 sekundi (engl. *30-s Wingate anaerobic test*, WanT). Rezultati su pokazali da su i APRE i VBRT trening protokoli značajno utjecali na jedno ponavljanje maksimalnog čučnja, vršnu snagu CMJ, relativnu vršnu snagu CMJ, kao i na ukupan broj udaraca u specifičnom TAIKT testu. Također, specifično, APRE protokol doveo je do malog pozitivnog učinka na indeks umora tijekom TAIKT testa, dok je VBRT trening doveo do umjerenog učinka na vršnu snagu u *Wingate* testu. Navedeni rezultati dovode do zaključka da je APRE protokol više utjecao na poboljšanje eksplozivne snage, dok je VBRT više utjecao na anaerobnu snagu. Isto tako, utvrđeno je da oba protokola imaju slične učinke na poboljšanje anaerobne izdržljivosti (vidljivo kroz rezultate *Wingate* testa i ukupan broj udaraca u TAIKT) i indeks umora.

Nadalje, rad Mirzaei i sur. (2012) istraživao je učinke dvije vrste treninga s opterećenjem – trening „dvostruke piramide“ (DP) i trening „s obrnutim povećanjem opterećenja“ (OPO) na određene fiziološke sposobnosti 22 mlada hrvača. Ispitanici su nasumično podijeljeni u 3 skupine: kontrolnu, DP skupinu i OPO skupinu te su trenirali 8 tjedana koristeći neki od dva treninga opterećenja. Konkretno, trening „dvostruke piramide“ sastojao se od potiska s ravne klupe (engl. *bench press*) i nožnog potiska (engl. *leg press*) koji su izvođeni sljedećim redoslijedom: 4 ponavljanja pri 80 % RM, 3 ponavljanja pri 85 % RM, 2 x 90 % RM, 1 x 95 % RM, 1x 95 % RM, 2 x 90 % RM, 3 x 85 % RM, 4 x 80 % RM, dok je trening „s obrnutim povećanjem opterećenja“ proveden kroz sljedeći obrazac: 2 x 90 % RM, 10 x 70 % RM, 15 x 60 % RM, 2 x 90 % RM, 10 x 70 % RM, 15 x 60 % RM. Rezultati 1 RM testa jakosti nisu pokazali značajne razlike na jakost mišića gornjeg ili donjeg dijela tijela između dviju trening skupina, međutim, razlika je bila značajna između dviju trening skupina u odnosu na kontrolnu

skupinu. Rezultati testa mišićne izdržljivosti za mišiće donjeg dijela tijela pokazali su značajne razlike za sve 3 skupine ispitanika, dok je značajnost ipak bila najveća za OPO trening. Istovremeno, nisu uočene značajne razlike za mišiće gornjeg dijela tijela niti za jednu skupinu. Također, statistički test za „snagu nogu“ pokazao je da ne postoji statistički značajna razlika između 3 skupine, ali je značajna razlika uočenu upravo između dvije proučavane skupine, tj. vrste treninga. Sažeto, pokazalo se da su oba modela treninga prikladna za povećanje jakosti, izdržljivosti, mišićne mase i snage te imaju gotovo isti učinak na fiziološke čimbenike sportaša. Međutim, autori su istaknuli da je trening „s obrnutim povećanjem opterećenja“ (OPO) prikladniji, ukoliko je cilj povećanje jakosti uz povećanje mišićne izdržljivosti.

Još jedno istraživanje proučavalo je utjecaj dva modela periodizacije treninga s opterećenjem na neke sposobnosti judaša povezane s izvedbom. Odrasli muški sportaši podijeljeni su u 2 skupine te su 8 tjedana provodili treninge jakosti prema jednom od modela periodizacije. Jedna skupina pratila je linearni model, a druga je pratila valoviti model, paralelno s judo treningom. Izometrička i dinamička mišićna izdržljivost procijenjene su pomoću specifičnih testova: izometrijskog i dinamičkog *judogi* zгиба, odnosno zгиbova koji se izvode držeći se za *judogi* (kimono) omotan oko šipke. U skupini koja je pratila linearni model treninga sportaši su u prva 2 tjedna izvodili vježbe s opterećenjem od 3 – 5 RM, od trećeg do petog tjedna vježbe snage od 6 – 8 ponavljanja s opterećenjem od ~80 % 1 RM, a od šestog do osmog tjedna cilj je bio razvoj snažne izdržljivost, dok je skupina koja je pratila valoviti model pratila isti program treninga za serije i opterećenja, ali varirajući u danima, a ne tjednima treninga (kao kod linearnog modela) izvodeći sve navedene serije vježbi u istom tjednu. Nakon 8 tjedana obje su skupine odradile jednaki broj treninga opterećenja, ali različito raspodijeljenih. Rezultati nisu pokazali razlike utjecaja vremena, protokola treninga ili interakcije tih dvaju čimbenika na broj ponavljanja zгиbova na kimonu, ali su ustanovljene razlike u duljini izdržaja zгиba nakon treninga u odnosu na vrijednosti prije treninga, za oba modela periodizacije. Kao rezultat toga, 8 tjedana linearnog ili valovitog treninga dovelo je do povećanja izometrijske snage i izdržljivosti u držanju hvata na kimonu što je važna prilagodba za judo borbu, tj. borbu za gard i hvat protivnikovog *judogija* tijekom judo borbe obzirom da borba za sami hvat i držanje protivnikovog *judogija* predstavljaju veliki dio borbe. Također, pokazalo se da se izvedeni volumen (opterećenje pomnoženo s brojem ponavljanja) kod vježbi *bench press* i čučanj povećao za oba modela periodizacije, ali da nije bilo promjena u broju ponavljanja u različitim vježbama (Franchini, Branco, Agostinho, Calmet i Candau, 2015).

### 4.3. Ostale metode za razvoj energetske sustava

Uz dvije navedene skupine treninga za razvoj energetske sustava u literaturi je dostupan velik broj radova koji su korištenjem drugih metoda pokušali dokazati pozitivne učinke ili ustanoviti postoje li učinci tih metoda na razvoj energetske sustava.

Jedno je takvo istraživanje proučavalo ergogeni učinak metode fotobiomodulacije na aerobne i anaerobne sposobnosti te sportsku izvedbu. Fotobiomodulacija je metoda koja uključuje korištenje svjetlosnog zračenja niskog intenziteta (do 1000 mW) na valnim duljinama vidljivog i/ili infracrvenog dijela spektra (600 do 1100 nm), a potencijalni ergogeni učinak se povezuje sa stimulacijom enzima citokrom c-oksidge u transportnom lancu elektrona unutar mitohondrija, povećavajući na taj način proizvodnju ATP-a. U istraživanju su sudjelovali sportaši brazilskog jiu-jitsua (BJJ) koji su u dvostruko slijepom randomiziranom istraživanju primili različite doze (od 6 J ili 12 J) ili placebo na 17 točaka u svakoj nozi te su kroz 3 *Wingate* testa i *squat jump* određivani učinci ove metode. Pokazalo se kako tretman metodom fotobiomodulacije nije pokazao ergogeni učinak ovisan o dozi u promatranim testiranjima visokog intenziteta kod BJJ sportaša. Unatoč tome što ovo istraživanje nije pokazalo ergogeni učinak fotobiomodulacije na anaerobnu izvedbu BJJ sportaša, prethodna istraživanja ukazala su da bi ova metoda mogla imati određeni ergogeni učinak na smanjenje umora i poboljšanje maksimalne izometrijske kontrakcije prilikom fleksije lakta i stiska šake (dos Santos Junior i sur., 2023).

Cilj drugog, također dvostruko slijepog, randomiziranog istraživanja bio je procijeniti učinak suplementacije kofeinom na izvedbu i procijenjeni doprinos energetske sustava tijekom simulirane taekwondo borbe pri čemu su ispitanici, taekwondošaši, konzumirali kapsulu kofeina u dozi od 5 mg/kg tjelesne mase ili placebo sat vremena prije simulirane borbe. Slično rezultatima prethodno spomenutog istraživanja, ispitivana metoda, tj. suplementacija kofeinom, nije rezultirala nikakvim promjenama u izvedbi, percepciji napora ili parasimpatičkoj reaktivaciji, ali je uočeno da je povećala doprinos glikolitičkog energetske sustava tijekom simulirane taekwondo borbe (Lopez-Silva i sur., 2015).

Nadalje, istraživanje istog autora, Lopez-Silva i sur. (2019), također je proučavalo utjecaj na izvedbu i procijenjeni doprinos energetske sustava tijekom simulirane taekwondo borbe, ali u ovom slučaju radilo se o suplementaciji Na-bikarbonata ( $\text{NaHCO}_3$ ). Ispitanici su u ovom dvostruko slijepom, randomiziranom istraživanju konzumirali 300 mg/kg tjelesne mase

NaHCO<sub>3</sub> ili placebo (CaCO<sub>3</sub>) 90 minuta prije simulirane borbe. Rezultati su pokazali kako je suplementacija NaHCO<sub>3</sub> dovela do povećanja koncentracije laktata u krvi taekwondoša što ukazuje na veći doprinos glikolitičkog energetskeg sustava tijekom simulirane borbe te do duljeg ukupnog vremena napada. Ovi su rezultati i zaključci, kako navode autori rada, pokazali kako suplementacija NaHCO<sub>3</sub> može poboljšati izvedbu tijekom simulirane taekwondo borbe, odnosno da potencijalno može biti korisna za poboljšanje izvedbe HIIT treninga.

Navedena istraživanja samo su jedan mali dio velikog broja radova koji se bave proučavanjem različitih metoda i njihovog doprinosa razvoju energetskeg sustava u borilačkim sportovima, ali i općenito u sportu. Sve dostupne informacije mogu biti relevantne i korisne kondicijskim trenerima, ali i sportskim stručnjacima za kvalitetnije planiranje i programiranje treninga te poboljšanje specifičnih sposobnosti sportaša u određenom sportu.

Naravno, postoji potreba za nastavkom istraživanja kako bi se došlo do novih saznanja koje bi dodatno poboljšale i unaprijedile izvedbu sportaša te doprinijele uspjesima i boljim rezultatima.



## 5. ZAKLJUČAK

Osnovni energetske sustavi mogu biti aerobni ili anaerobni, a u aktivnostima sudjeluju u različitim omjerima. U tjelesnim aktivnostima koje se temelje na izdržljivosti glavnu ulogu preuzima aerobni energetske sustav, odnosno aerobna izdržljivost, dok se u kratkotrajnim visoko – intenzivnim aktivnostima najveći dio energije osigurava iz anaerobnih zaliha, odnosno glavnu ulogu ima anaerobni energetske sustav, tj. anaerobna izdržljivost, ali doprinos daju i brzinska te snažna izdržljivost (Vučetić i sur., 2013). Pregledavajući trenutno dostupne radove i literaturu vezanu uz borilačke sportove moguće je zaključiti kako se oni primarno pokreću oksidativnim energetske sustavom, ali su za ključne reakcije i ostvarivanje bodova u samim borbama odgovorni anaerobni metabolički procesi.

Također, za razumijevanje interakcije između doprinosa pojedinog energetske sustava, ukupne potrošnje energije i metaboličke snage sa specifičnim tehnikama u borilačkim sportovima, simulacije borbi služe kao metoda koja pruža vrijedne informacije za planiranje i programiranje treninga. Iako se, primjerice, procjena doprinosa energetske sustava može koristiti za praćenje fiziološke prilagodbe sportaša na različite metode treninga ili pojedine intervencije kao što su doprinos ergogenih sredstava, različitih tehnika zagrijavanja, postupaka naglog mršavljenja ili strategije oporavka između borbi, još uvijek nema dovoljno podataka o povezanosti fizičke kondicije sportaša i njezinog utjecaja na doprinose energetske sustava, što ukazuje na potrebu, ali i mogućnost daljnjih istraživanja (Franchini, 2023).

Zaključno, jasno je da je za postizanje optimalne treniranosti potrebno pratiti dostignuća suvremene znanosti u sportu zbog čega je iznimno važno nastaviti provoditi istraživanja kako bi se još više unaprijedila znanstvena strana struke, a istovremeno i poboljšalo metode treninga te pozitivno utjecalo na uspjeh i izvedbu sportaša.

## 6. LITERATURA

1. Baić M. (2021) Povijest hrvanja u svijetu. HHS – Hrvatski hrvački savez, Pristupljeno 2. svibnja 2024. na <https://www.hhs.hr/o-savezu/povijest-hrvanja-u-svijetu/>
2. Bartel, C., Coswig, V. S., Protzen, G. V., Del Vecchio, F. B. (2022) Energy demands in high-intensity intermittent taekwondo specific exercises. *Peer Journal*, 10: e13654.
3. Beneke, R., Beyer, T., Jachner, C., Erasmus, J., Hütler, M. (2004) Energetics of karate kumite. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 518–523.
4. Bok, D. (2021a) Dinamika akutnog fiziološkog odgovora na različita opterećenja. U zborniku radova *19. godišnje međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša*, Zagreb, 19. veljače 2021. (str. 35-46), Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
5. Bok, D. (2021b) Interni materijali s predavanja iz kolegija Kineziološka analiza u kondicijskoj pripremi sportaša, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
6. Britannica, The Editors of Encyclopaedia (2024) Karate. *Encyclopedia Britannica*, Pristupljeno 2. svibnja 2024. na <https://www.britannica.com/sports/karate>.
7. Campos, F. A. D., Bertuzzi, R., Dourado, A. C., Ferreira Santos, V. G., Franchini, E. (2012) Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 1221-1228.
8. Davis, P., Leithäuser, R. M., Beneke, R. (2014) The energetics of semicontact 3 x 2-min amateur boxing. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 233–239.
9. Doria, C., Veicsteinas, A, Limonta, E., Maggioni, M. A., Aschieri, P., Eusebi, F., Fano, G., Pietrangelo, T. (2009) Energetics of karate (kata and kumite techniques) in top-level athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 107, 603–610.
10. Dos Santos Junior, R. B., Branco, B. H. M., Andreato, L. V., Marques, D. C. S., de Oliveira, F. M., Ferreira, W.C., Bardi, E. M. G., Fernandes, E. V., Ramos, S. P. (2023) Effects of photobiomodulation on High-intensity intermittent anaerobic performance of lower limbs in brazilian Jiu-Jitsu athletes: A randomized, crossover, double-blind clinical trial. *International Journal of Exercise Science*, 16 (6), 1165-1181.
11. Farzad, B., Gharakhanlou, R., Agha-Alinejad, H., Curby, D. G., Bayati, M., Bahraminejad, M., Maestu, J. (2011) Physiological and performance changes from the

- addition of a sprint interval program to wrestling training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (9), 2392–2399.
12. Francescato, M. P., Talon, T., di Prampero, P. E. (1995) Energy cost and energy sources in karate. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 71 (4), 355-361.
  13. Franchini, E. (2023) Energy system contributions during olympic combat sports: A narrative review. *Metabolites*, 13 (2), 297.
  14. Franchini, E., Branco, B. M., Agostinho, M. F., Calmet, M., Candau, R. (2015) Influence of linear and undulating strength periodization on physical fitness, physiological, and performance responses to simulated judo matches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (2), 358-367.
  15. Franchini, E., Sterkowicz, S., Szmatlan-Gabrys, U., Gabrys, T., Garnys, M. (2011) Energy system contributions to the special judo fitness test. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6, 334-343.
  16. Franchini, E., Del Vecchio, F.B., Matsushiguge K.A., Artioli, G.G. (2011). Physiological profiles of elite judo athletes. *Sports Med*, 41, 147-166.
  17. Franchini, E., Panissa, V. L. G., Julio, U. F. (2013) Physiological and performance responses to intermittent uchi-komi in judo. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (4), 1147-1155.
  18. Gastin, P. B. (2001) Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31 (10), 725-741.
  19. Hall, C. J., Lane, A. M. (2001) Effects of rapid weight loss on mood and performance among amateur boxers. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 390–395.
  20. Horswill, C. A. (1992) Applied physiology of amateur wrestling. *Sports Medicine*, 14 (2), 114-143.
  21. Huang, Z., Chen, J., Chen, L., Zhang, M., Zhang, W., Sun, J., Li, D. (2023) The enhancement of explosive power contributes to the development of anaerobic capacity: A comparison of autoregulatory progressive resistance exercise and velocity-based resistance training. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 22, 159-167.
  22. IBA (2021) About IBA. Our history. IBA – International Boxing Association, Pristupljeno 2. svibnja 2024 na <https://www.iba.sport/about-iba/our-history/>
  23. IBA (2024) IBA technical & competition rules, IBA – International Boxing Association, preuzeto 2. svibnja 2024. na <https://www.iba.sport/about-iba/boxing-rules/>

24. Julio, U. F., Panissa, V. L. G., Esteves, J. V., Cury, R. L., Agostinho, M. F., Franchini, E. (2016) Energy system contributions to simulated judo matches. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12 (5), 676-683.
25. Julio, U. F., Panissa, V. L. G., Cury, R. L., Agostinho, M. F., Esteves, J. V., Franchini, E. (2019) Energy system contributions in upper and lower body Wingate tests in highly trained athletes. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 90, 244-250.
26. Khanna, G. L., Manna, I. (2006) Study of physiological profile of indian boxers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 90-98.
27. Lolić, D., Nurkić, M. (2011). Razlike u motoričkim sposobnostima kod džudista različitog uzrasta. *Sportske navike i zdravlje*, 1, 135-142.
28. Lopez-Silva, J. P., da Silva Santos, J. F., Magnani Branco, B. H., Cal Abad, C. C., de Oliveira, L. F., Loturco, I., Franchini, E. (2015) Caffeine ingestion increases estimated glycolytic metabolism during taekwondo combat simulation but does not improve performance or parasympathetic reactivation. *PLOS One*, 11(10), e0165350.
29. Lopez-Silva, J. P., da Silva Santos, J. F., Artioli, G. G., Loturco, I., Abbiss, C., Franchini, E. (2018) Sodium bicarbonate ingestion increases glycolytic contribution and improves performance during simulated taekwondo combat. *European Journal of Sport Science*, 18 (3), 431-440.
30. Mirzaei, B., Arazi, H., Curby, D., Barbas, I., Ghahramani Moghaddam, M., Hosseini, Y. (2012) The effects of two different resistive loading patterns on strength, hypertrophy, anaerobic power and endurance in young wrestlers. *International Journal of Wrestling Science*, 2 (1), 41-47.
31. Mirzaei, B., Curby, D., Nia-Rahmani, F., Moghadasi, M. (2009) Physiological profile of elite Iranian junior freestyle wrestlers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (8), 2339-2344.
32. Mirzaei, B., Moghaddam, M. G., Abadi, H. A. Y. (2017) Analysis of energy systems in Greco-Roman and Freestyle wrestlers who participated in the 2015 and 2016 World Championships. *International Journal of Wrestling Science*, 7, 35-40.
33. Ohya, T., Takashima, W., Hagiwara, M., Oriishi, M., Hoshikawa, M., Nishiguchi, S., Suzuki, Y. (2015) Physical fitness profile and differences between light, middle, and heavy weight-class groups of Japanese elite male wrestlers. *International Journal of Wrestling Science*, 5, 42-46.

34. Ravier, G., Dugue, B., Grappe, F., Rouillon, J. D. (2009) Impressive anaerobic adaptations in elite karate athletes due to few intensive intermittent sessions added to regular karate training.
35. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19, 687-694.
36. Ruddock, A., James, L., French, D., Rogerson, D., Driller, M., Hembrough, D. (2021) High-intensity conditioning for combat athletes: Practical recommendations. *Applied sciences*, 11 (22), 10658.
37. Sertić H. (2004) Osnove borilačkih sportova: judo, karate, hrvanje. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
38. Sikorski, W. (2010) Identification of judo contest from physiological viewpoint. *Journal of Combat Sports and Martial Arts*, 1, 115-118.
39. Smith, M., Dyson, R., Hale, T., Hamilton, M., Kelly, J., Wellington, P. (2001) The Effects of Restricted Energy and Fluid Intake on Simulated Amateur Boxing Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 11, 238-247.
40. SMP (2019) Sport Science Report: Training Energy Systems. SMP – Sports Manitoba Performance, Pristupljeno 2. svibnja 2024. na <https://www.sportmanitoba.ca/https-www-sportmanitoba-ca-sport-science-report-training-energy-systems/>
41. UWW (2023) International wrestling rules, UWW – United World Wrestling, preuzeto 19. ožujka 2024 na <https://uww.org/governance/regulations-olympic-wrestling>
42. Vasconcelos, B. B., Protzen, G., Galliano, L., Kirk, C., Del Vecchio, F. B. (2020) Effects of High-Intensity Interval Training in combat sports: A systematic review with meta-analysis. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 34 (3), 888-900.
43. Vučetić, V., Sukreški, M., Sporiš, G. (2013) Izbor adekvatnog protokola testiranja za procjenu aerobnog i anaerobnog energetskeg kapaciteta. U 3. *Dijagnostika treniranosti, Zbornik radova 11. godišnje međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša*, Zagreb, 22. i 23. veljače 2013. (str. 99-110). Sportsko dijagnostički centar, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
44. WKF (2024) Kumite competition rules. WKF – World Karate Federation, preuzeto 12. ožujka 2024. na <https://www.wkf.net/structure-statutes-rules>.
45. WT (2023) Competition rules and interpretation. WT – World Taekwondo, preuzeto 18. ožujka 2024. na <http://www.worldtaekwondo.org/rules-wt/rules.html>
46. Yang, W., Heine, O., Grau, M. (2018) Rapid weight reduction does not impair athletic performance of Taekwondo athletes - A pilot study. *PLOS ONE*, 13(4): e019656